

Andrzej RYDZEWSKI

Problem występowania i genezy pirytu w obrębie skał cechsztyńskich monokliny przedsudeckiej

WSTĘP

Kulista forma pirytu stwierdzona w niektórych morskich osadach dolnego cechsztynu od dawna wzbudzała duże zainteresowanie. Ta forma ziarn pirytu określana jako zmineralizowane bakterie występuje również w utworach cechsztynu monokliny przedsudeckiej.

Stwierdzono powiązanie mineralizacji pirytowej z poziomami piaskowców szarego spągowca, łupku miedzionośnego, wapieni i dolomitów cyklotemu Werra, wykształconych w facji redukcyjnej, oraz z niektórymi poziomami skał z wyższych cyklotemów cechsztyńskich. Obecność i rozmieszczenie pirytu w skale, podobnie jak i mineralizacji Cu-Pb-Zn, podlega pewnym prawidłowościom. Ustalenie pozycji pirytu w kolejności krystalizacji poszczególnych minerałów w cechsztyńskich złożach Cu-Pb-Zn może stać się cennym dowodem dla rozważań nad genezą tej mineralizacji.

WYKSZTAŁCENIE I ROZMIESZCZENIE PIRYTU W OSADACH DOLNEGO CECHSZTYNU MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ

W utworach dolnego cechsztynu monokliny przedsudeckiej obok siarczków Cu-Pb-Zn występują dość często zmienne ilości pirytu. Mineral ten wykształcony jest najczęściej w dwu postaciach:

A. W postaci drobnych kulek o średnicy 7—12 μ , zbudowanych z kryształków idiomorficznego pirytu o wielkości od 0,5 do 1,5 μ oraz rzadziej w postaci większych kulek (około 30 μ średnicy), zbudowanych z nieco większych kryształków pirytu — od 3 do 8 μ średnicy. Opisane kulki skupiają się niekiedy w formie soczewkowatych gniazd (tabl. I, fig. 3). W obrębie badanych osadów stwierdzono także występowanie pojedynczych kryształków pirytu o wielkości 0,5—8 μ . Są one najczęściej rozrzucone w skale w sposób bezładny, rzadziej zgromadzone lokalnie w postaci nieregularnych skupień (tabl. III, fig. 4).

B. W postaci ziarn o średnicy na ogół poniżej 1 mm, a niekiedy tylko dochodzących do paru centymetrów, bardzo zmiennego kształtu, najczęściej nieregularnego, dość silnie rozczłonkowanych i przerośniętych skałą płonną, przeważnie kalcytem (tab. II, fig. 5). Pirytowo-kalcytowe skupienia, dość często soczewkowate na terenie niecki mansfeldzkiej określane były jako konkrecje. Stwierdzono, że w obrębie skał cechsztyńskich monokliny przedsudeckiej ułożenie tych form soczewkowatych jest zgodne z ogólnym kierunkiem tekstury skały. W obrębie dużych ziarn pirytu zaobserwowano częste występowanie opisanych wyżej kulek zbudowanych z paromikronowych, idiomorficznych kryształków.

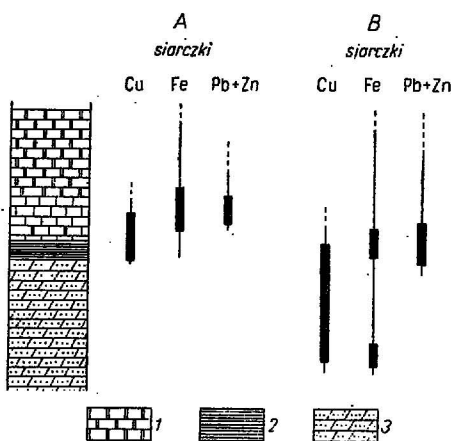


Fig. 1. Schemat występowania siarczków Cu-Pb-Zn i pirytu w osadach cechsztynu monokliny przedsudeckiej w strefach bliższych utworów utlenionych rote Fäule (A) i dalszych od nich (B)

Scheme of occurrence of Cu-Pb-Zn sulphates and of pyrite in the Zechstein deposits of the Fore-Sudetic monocline within the zones adjacent to oxidized formations rote Fäule (A) and in the remote zones (B)

1 — wapień i dolomity Werra; 2 — łupki miedzionośne; 3 — piaskowce białego i szarego spągowca

1 — Werra limestones and dolomites; 2 — copper-bearing shales; 3 — sandstones of Weissliedendes and Grautliedendes

W rozmieszczeniu pirytu w obrębie osadów dolnego cechsztynu monokliny przedsudeckiej stwierdzono zarysowujące się prawidłowości (fig. 1). Podwyższone ilości tego minerału spotyka się na ogół w pewnej odległości od obszaru występowania poziomu łupków bitumicznych, osadzonych w warunkach facji utlenionej, zwanej rote Fäule. W profilu pionowym piryt występuje zwykle powyżej głównej mineralizacji miedziowej, najczęściej w obrębie skał poziomu węglanowego cyklotemu Werra. Zwiększone jego ilości stwierdzono także, lecz nieco rzadziej, w piaskowcach szarego spągowca, poniżej głównej mineralizacji miedziowej. Przeważnie współwystępuje on z chalkopirytem i sfalerytem, a rzadziej z bornitem i chalkozynem.

Wszystkie siarczki obecne w osadach dolnego cechsztynu monokliny przedsudeckiej tworzą najczęściej drobne, niezależne ziarna rozmieszczone w całej skale, rzadziej natomiast żyłki i gniazda pochodzenia diagenetycznego i postdiagenetycznego (A. Rydzewski, 1969). W obrębie pojedynczych ziarn przerosty wzajemne minerałów są rzadko spotykane i dlatego ustalenie paragenetycznej kolejności siarczków napotyka na duże trudności.

Obserwacja siarczków występujących we wtórnych żyłkach i gniazdach diagenetycznych i postdiagenetycznych nie dostarcza, niestety, właściwego materiału dla określenia pierwotnej paragenety. W przypadku pirytu stwierdzono, że posiada on cechy minerału pierwotnego, nie wyka-

zującego wyraźnych tendencji do migracji w czasie diagenety i w okresie postdiagenetycznym. Współwystępowanie pirytu z siarczkami Cu-Pb-Zn ogranicza się najczęściej do obecności w ich ziarnach pewnych ilości wyżej opisanych kulek pirytowych (tabl. III, fig. 6) lub pojedynczych, drobnych ziarn (fig. 7). Siarczki te są też często spoiwem idiomorficznych kryształków pirytowych w obrębie kulek (tabl. I, fig. 2). Do rzadkości natomiast należy zastępowanie tych idiomorficznych kryształków innymi minerałami, na przykład chalkopirytem i chalkozynem.

PIRYT JAKO WSKAŹNIK GENETYCZNY CECHSZTYŃSKICH RUD Cu-Pb-Zn

Ustalenie kolejności krystalizacji poszczególnych minerałów siarczko- wych występujących w obrębie formacji cechsztyńskiej byłoby bardzo cenne dla rozważań nad genezą rud Cu-Pb-Zn. Większość badaczy jako klucz do tego zagadnienia uznało piryt. Jego kulista forma wskazywałaby raczej na pierwszy etap krystalizacji siarczków syngenetycznie z osadem i na jego stosunkowo najmniejszą tendencję do wędrówki. W porównaniu do innych siarczków jest on wyraźnie wcześniejszy, o czym może świadczyć obecność kulek w obrębie innych minerałów, a także podstawianie pirytu w kulkach najczęściej przez chalkopiryty i chalkozyn, a rzadziej przez bornit (tabl. III, fig. 6).

Za pierwotnym pochodzeniem pirytu w stosunku do skały otaczającej wypowiedziało się wielu badaczy. Szczególnie zdecydowanie występował C. Schouten (1946), według którego pozostałe siarczki są wyraźnie epigenetyczne. Długotrwałą dyskusję nad pochodzeniem kulek pirytowych zapoczątkował H. Schneiderhöhm (1923) stwierdzeniem, że są one pozostałością zmineralizowanych bakterii. Pogląd ten podzieliło wielu badaczy, którzy dopatrywali się w każdej takiej kulce kolonii bakterii, a w każdym idiomorficznym kryształku pirytu pojedynczego osobnika. H. Schneiderhöhm, a następnie A. Neuhaus (1940) wydzielili trzy grupy tzw. zmineralizowanych bakterii. Doszli oni do wniosku, że powstały w ten sposób piryt był ośrodkiem, wokół którego krystalizowały inne siarczki.

Z poglądami tych badaczy nie zgodził się C. Schouten (1946), który podając liczne przykłady wzajemnego podstawiania się siarczków w polimetalicznych złożach cechsztyńskich uważa tę formę ziarn minerałów za wynik podstawiania siarczkami bliżej nie określonych ciał, niekoniecznie o pierwotnym organicznym pochodzeniu. Przemawiałby za tym także fakt napotykania podobnych kulistych ziarn pirytu w niektórych złożach o uznanej genezie hydrotermalnej.

Wskazując na powyższy fakt również T. Deans (1948) w sposób zdecydowany stwierdza, że ta forma siarczków powstała w wyniku prostego strącania z roztworu. Według Deansa mineralizację tę należy rozpatrywać jako jedną z kolejnych faz ustalonej sukcesji osadzania chemicznego. Pogląd ten poparł między innymi S. Lisiakiewicz (1959) badający mineralizację siarczkową w osadach cechsztyynu niecki północnosudeckiej.

W. Siegl (1941) wszystkie siarczki w osadach cechsztyynu uznaje za powstałe na drodze podstawiania. Kulki pirytowe uważa on za wynik diagenetycznego podstawiania pierwotnych kulistych ziarn kalcytu. Taki

punkt widzenia budzi poważne zastrzeżenia. Nie znaleziono bowiem dotychczas kuliściży ziarn kalcytu nie tylko w utworach cechsztynu, ale nawet w jakichkolwiek innych. Poza tym forma występowania pojedynczych kryształków pirytu w tych kulkach pod względem pokroju ziarn jak najbardziej odpowiada budowie krystalograficznej pirytu. Inne siarczki występujące niekiedy w tej postaci należy uważać jako wtórne zastąpienie pirytu.

BAKTERIE ANAEROBOWE A KULKI PIRYTOWE W OSADACH

W celu wyjaśnienia pochodzenia tzw. skamieniałych bakterii spotykanych licznie w osadach zapoczątkowano w ostatnich latach badanie współczesnych bakterii anaerobowych. Szczególnie zajęto się bakterią *Desulfovibrio desulfuricans*, oznaczoną przez Beijerincka w 1895 r. Bakteria ta obecnie zwana *Clostridium desulfuricans* odżywia się tlenem pobieranym z siarczanów. Jako produkt przemian metabolicznych powstaje tu H_2S . Rozpiętość pH środowiska, w którym spotykano te bakterie, wynosi od 4,2 do 10, a Eh od +100 mV do -500 mV. Bakterie te są bardzo odporne na zmiany temperatury.

Prace doświadczalne nad bakteriami siarczanowymi *Clostridium desulfuricans* przeprowadzili L. G. M. Baas (Becking i D. Moore (1961)). Jako produkt wyjściowy użyli prostych związków żelaza, miedzi, cynku, ołowiu i srebra. Na drodze redukcji bakteryjnej wyprodukowali oni siarczek żelaza, a także kowelin, digenit, argentyt, sfaleryt i galenit. Nie udało się jednak uzyskać chalkopirytu, bornitu, a także siarczków niklu, kobaltu i rtęci. Do badań swych L. G. M. Baas Becking i D. Moore przywiązują duże znaczenie. Uważają oni, że niewyprodukowanie siarczków niklu i kobaltu jest przypuszczalnie spowodowane niedoskonałością zastosowanej metody lub wynikiem dobrania nieodpowiednich warunków środowiskowych. Niemniej tłumaczą to także dużą toksycznością związków niklu i kobaltu, szczególnie zaś związków rtęci.

Nowego materiału do dyskusji nad pochodzeniem kulek pirytowych dostarczyły badania L. G. Love (1957, 1962). Budowa wewnętrzna tych kulek badana pod powiększeniem 2500 pozwoliła na wysunięcie wniosku, że większość ich należy traktować jak mikroskamieniałości. Kulki bowiem są przeważnie otoczone substancją bitumiczną, ułożoną w formie tkaniki. Skamieniałości te określono jako *Pyritosphaeris barbaria* Love. Należy je bez wątpliwości traktować jako pozostałość mikroorganizmów, które spowodowały autogeniczne strącanie pierwotnych siarczków żelaza w osadach we wczesnym okresie morza cechsztyńskiego. Podobne torbiele lub tkaniki wokół kulek pirytowych stwierdzono potem w wielu typach skał i złóż. Szczególnie częste są one wśród formacji weglanowej. Trzeba zaznaczyć, że formy tkankowe o tzw. strukturze frambooidalnej¹ nigdy nie są całkowicie wypełnione siarczkiem.

¹ Określenie „struktura frambooidalna” odnoszące się początkowo tylko do budowy wewnętrznej kulek wchodzi również w życie jako nazwa tekstury skały, w której podstawowy minerał kruszcowy tworzy kulki zbudowane z drobnych kryształków.

L. G. Love interpretuje te formy jako bakterie lub bliżej nie znane mikroorganizmy tkankowe, pozostające w ścisłym związku z produkcją H_2S w osadzie dennym. Tworzenie się H_2S w obrębie ich ciał nieuchronnie prowadzi do powstania pewnej formy siarczku żelaza, która następnie z biegiem czasu rekrytalizuje w postaci pirytu.

Te mikroorganizmy tkankowe rozwijały się także w obrębie większych szczątków organicznych, np. otwornic (M. Langer, 1963).

W osadach obok kulistych skupień tworzy się także siarczek żelaza w postaci pojedynczych kryształków o wielkości podobnej do występujących w obrębie kulek. Cała ta forma tworzenia się pirytu reprezentuje część cyklu życia organicznego o charakterze sapropelowym.

BADANIA WSPÓŁCZESNYCH OSADÓW Z SIARCZKAMI ŻELAZA

Wiele nowych danych dotyczących sposobu tworzenia się pirytu w warunkach hipergenicznych wniosły badania współczesnych osadów dennych w morzach i oceanach. Wielokrotnie opisywano występowanie w takich osadach pirytu w formie kulistej, znanej ze skał wieku cechsztyńskiego. Ustalono, że w osadach euksynicznych bogatych w substancje organiczne, tzn. o zawartości C_{org} rzędu 0,5—1,3%, redukcja żelaza z Fe^{3+} do Fe^{2+} jest całkowita na głębokości 5 do 8 m poniżej dna morza (C. F. Davidson, 1962). Proces ten zaczyna się plamami hydrotroilitu wokół resztek obumarłego planktonu i przemianami prowadzącymi do podstawiania ich pirytem oraz do tworzenia się konkrecji.

E. A. Ostroumow (1957) analizując wiercenia z Morza Ochockiego stwierdził wzrost zawartości pirytu w osadzie podczas diagenety. W badanych skałach z tego rejonu siarczek żelaza wykształcony w postaci kulek występował w obrębie okrzemek i innych drobnych organizmów.

Wniki badań płytkich osadów przybrzeżnych południowej Anglii i Long Island Sound w USA przedstawił L. G. Love (1962). W obu obszarach analizowano muły szare lub ciemnoszare. W celach porównawczych zbadano także muły słodkowodne z jezior rejonu Nowego Jorku. We wszystkich tych osadach przeważającym siarczkiem okazał się piryt, którego główne ilości występowały w postaci kulek. Nie zaobserwowano obecności markasytu.

Na specjalną uwagę zasługuje dokonana przez U. Regnell (1961) analiza materiałów szwedzkiej ekspedycji „Albatros”, która w latach 1947—48 przeprowadziła badania osadów euksynicznych głębin morskich. Obserwując liczne otwornice wypełnione pirytem U. Regnell stwierdza, że siarczek żelaza jest typowym osadem podpowierzchniowym, którego tworzenie się przypada poniżej warstwy wystawionej na działanie wszelkich organizmów mułożernych. Z czynników wpływających na powstawanie siarczku żelaza w osadzie U. Regnell (1961) wymienia i analizuje pH, Eh, zawartość siarki, żelaza oraz czynniki mechaniczne.

Wartość pH osadów mórz otwartych waha się w granicach 7—8,5, co nie może wpłynąć na tworzenie się pirytu, który jest stały w środowisku o wartości pH między 5,6 a 9. Natomiast wartość pH osadów odgrywa dużą rolę w procesie osadzania węglanów, na który pośrednio mają wpływ bakterie siarczanowe. Poniżej wartości pH = 7,8 węglany ulegają rozpu-

szczaniu. Obecność CO_2 , jak i H_2O zakwasza środowisko, natomiast bakterie siarczanowe przeprowadzając silne kwasy siarczanowe w siarczki działają przeciwnie, a więc podnoszą pH, co może lokalnie umożliwić wytrącenie się węglanów. Oba procesy zakwaszania i ługowania środowiska przebiegają jednocześnie, a ostateczny rezultat zależy od wielu czynników, między innymi od ilości i rodzaju materii organicznej oraz od typu bakterii siarczanowych.

Ze względu na stosunkowo szerokie występowanie w warunkach hipergenicznych żelazo nie kontroluje procesu powstawania pirytu. W roztworze wody morskiej żelazo występuje w bardzo niskich koncentracjach. Prawie cała jego ilość przedostaje się do osadów w formie koloidalnych wodorotlenków i tam ulega redukcji przez substancje organiczne. Niemniej istnieje pewien przedział pH (około 7,5) i Eh (około — 200 mV), w obrębie którego w równowadze znajduje się zarówno hematyt, jak i piryt.

Należy podkreślić pewne pokrewieństwo między pirytem i glaukonitem. Oba te minerały są autigenicznymi minerałami żelaza i dla swojego powstania wymagają pewnej ilości substancji organicznych. Piryt charakteryzuje raczej podpowierzchniowe środowisko osadu, wymaga mniejszego Eh, a wysokiego współczynnika akumulacji. Glaukonit zaś jest formą powierzchniową w półredukcyjnym środowisku i tworzy się chętniej przy bardzo niskim współczynniku akumulacji.

Czynnikiem geologicznym mającym wpływ na powstawanie pirytu wydaje się być bliskość linii brzegowej. Zwiększa się wtedy ilość substancji organicznych w osadzie i możliwość intensywnego rozwoju bakterii siarczanowych. Bliskość linii brzegowej zwiększa współczynnik akumulacji, uniemożliwiając kompletne utlenianie substancji organicznych, co z kolei obniża wartość Eh osadu dennego. Bliskość brzegu zwiększa też ruchliwość wód kraczących w przestrzeniach międzyziarnowych, a także umożliwia istnienie dużego wahania mikrofacji. Stwierdzono wielokrotnie, między innymi i w osadach cechsztynu, że w obrębie mikrosoczewek na pograniczu materiału okruchowego grubszego i drobnego występują często podwyższone ilości siarczków.

Największy wpływ na powstawanie pirytu w osadzie ma wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego Eh, który również zależy w dużej mierze od rodzaju substancji organicznych i działalności mikrobiologicznej. Zgodnie z diagramami R. M. Garrelsa (1960) przedział stałości tego minerału leży poniżej wartości — 200 mV w wyżej podanym przedziale pH. Woda morska przy powierzchni wykazuje wartość Eh około +400 mV. Eh wody dennej mórz otwartych jest jeszcze słabo dodatnie, staje się natomiast ujemne w obrębie osadu. Na przykład osady Pacyfiku w pobliżu Kalifornii już na głęb. 0,5–1 m od powierzchni dna wykazują ujemną wartość Eh (U. Regnell, 1961).

Pewien wpływ na tworzenie się siarczku żelaza odgrywają czynniki mechaniczne, takie jak rozdrobnienie osadu oraz wielkość przestrzeni międzyziarnowych. Na małych cząstkach osadu ulegają absorpcji większe ilości materiału organicznego, warunkujące utrzymanie odpowiedniego dla tworzenia się siarczku żelaza reżimu Eh. Natomiast od wielkości przestrzeni międzyziarnowych zależy ilość tworzących się minerałów wczesno-

diagenetycznych, takich jak piryt. Duże pustki międzyziarnowe przyspieszają migrację składników mineralnych i organicznych oraz migrację bakterii siarczanowych, które w tych warunkach znajdują obfitość pożywienia i dobre warunki do rozwoju. Na tworzenie siarczku żelaza wpływa pośrednio również zwiększenie się szybkości sedymentacji osadu, powodujące wzrost jego przepuszczalności, a także zmniejszenie stopnia utleniania związków organicznych.

H_2S konieczny do utworzenia się siarczku żelaza pochodzi ze związków siarki w substancjach organicznych lub jest produktem metabolicznych przemian bakterii siarczanowych. To drugie źródło jest znacznie ważniejsze. Koncentracja siarki w osadzie ma zatem pewne znaczenie dla powstania pirytu, lecz w przypadku dużej ruchliwości wód i szybkiej jej wymiany znaczenie to jest dość ograniczone.

WNIOSKI

Stwierdzono zarysowujące się prawidłowości w rozmieszczeniu pirytu w obrębie osadów dolnego cechsztynu monokliny przedsudeckiej. Występowanie tego minerału, podobnie jak i siarczku miedzi, ołowiu i cynku, zależy od odległości od obszaru, gdzie skały poziomu łupku miedzionego wykształcone są w facji utlenionej, zwanej *rote Fäule*. W profilu pionowym podwyższone ilości pirytu obserwowano najczęściej powyżej i niekiedy także poniżej głównej mineralizacji miedziowej. Przeważnie współwystępuje on z chalkopirytem, galenitem i sfalerytem, a rzadziej z bornitem i chalkozynem.

Najczęstszą formą występowania siarczku w badanych osadach cechsztyńskich są pojedyncze, drobne ziarna rozmieszczone w całej skale lub skupione w nieregularne i soczewkowate gniazda. Przerosty w takich ziarnach są niezbyt pospolitym zjawiskiem. W przypadku pirytu stwierdzono obecność pewnych ilości jego kulistych form w obrębie pozostałych minerałów siarczku. Te kuliste formy zwane zmineralizowanymi bakteriami występują masowo wśród skał dolnego cechsztynu w pewnych obszarach monokliny przedsudeckiej. Zbudowane są z bardzo drobnych najczęściej idiomorficznych kryształków pirytu.

W świetle badań L. G. Love (1957, 1962), L. G. M. Baas Becking'a i D. Moore (1961), M. Langer (1963) i U. Regnell (1961) kulistą formę pirytu należy uznać za działalność bakterii anaerobowych. Produkowany w czasie ich przemian metabolicznych H_2S umożliwił powstanie siarczku żelaza. Samo tworzenie się kulek zachodziło często w obrębie bliżej nieokreślonych mikroorganizmów tkankowych.

Dotychczasowe obserwacje pirytu w utworach cechsztyńskich monokliny przedsudeckiej przemawiają na korzyść poglądów określających proces tworzenia się siarczku żelaza jego syngenetyczny z osadem. Powstanie pirytu kulistego należy natomiast uważać za proces wczesnodiagenetyczny, wywołujący rekrytalizację pierwotnego siarczku żelaza.

PIŚMIENICTWO

- BAAS BECKING L. G. M., MOORE D. (1961) — Biogenic sulfides. *Econ. Geol.*, 56, p. 259—272, nr 2. Urbana, Illinois.
- DAVIDSON C. F. (1962) — On the origin of some strata-bound sulfide ore deposits. *Econ. Geol.*, 57, p. 265—273, nr 2. Urbana, Illinois.
- DEANS T. (1948) — The Kupferschiefer and the associated lead — zinc mineralisation in the Permian of Silesia, Germany and England. *Rept. 18th Intl. Geol. Gr. Britain*, 7, London.
- GARRELS R. M. (1960) — Mineral equilibria of low temperature and pressure. New York.
- LANGER M. (1963) — Über die erzmikroskopischen Untersuchungen des Kupferschiefers und seines unmittelbaren Liegenden im Raum Spremberg — Weisswasser. *Z. angew. Geol.*, 9, p. 449—452, nr 9. Berlin.
- LISIAKIEWICZ S. (1969) — W sprawie genezy złóż miedzi w niecce północnosudeckiej. *Prz. geol.*, 7, p. 119—120, nr 3. Warszawa.
- LOVE L. G. (1957) — Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite. *Geol. Soc., London Quart. Jour.*, 113, p. 429—440. London.
- LOVE L. G. (1962) — Biogenic primary sulfide of the Permian Kupferschiefer and Marl Slate. *Econ. Geol.*, 57, p. 351—366, nr 3. Urbana, Illinois.
- NEUHAUS A. (1940) — Über die Erzführung des Kupfermergels der Haaseler und der Gröditzer Mulde in Schlesien. *Z. angew. Min.*, 2, p. 304—343. Leipzig.
- REGNELL U. (1961) — On pirite in deep-sea sediments. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala*, XL, p. 305—314. Uppsala.
- RYDZEWSKI A. (1969) — Petrografia łupków miedzionośnych cechszyny na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, 217 p. 113—168 Warszawa.
- SCHNEIDERHÖHN H. (1923) — Chalkographische Untersuchung des Mansfeld de Kupferschiefers. *Neues. Tb. f. Min.*, 47, p. 1—38. Stuttgart.
- SCHOOUTEN C. (1946) — The role of sulfur bacteria in the formation of the so-called sedimentary copper ores and pyrite ore bodies. *Econ. Geol.*, 41, p. 517—538, nr 4. Urbana, Illinois.
- SIEGL W. (1941) — Zur Genesis des Kupferschiefer. *Min. Petr. Mitt.*, 52, p. 347—362, nr 6. Leipzig.
- ОСТРОУМОВ Е. А. (1957) — Соединения серы в донных отложениях Охотского моря. *Труды Инст. Океанологии*. 22. стр. 139—157. Москва.

Андрей РЫДЗЕВСКИ

ПРОБЛЕМА ЗАЛЕГАНИЯ И ГЕНЕЗИСА ПИРИТА
В ПРЕДЕЛАХ ЦЕХШТЕЙНОВЫХ ПОРОД ПРЕДСУДЕТСКОЙ МОНОКЛИНАЛИ

Резюме

В отложениях нижнего цехштейна Предсудетской моноклинали (Дольны Шпенск или Нижняя Силезия) пирит является довольно часто встречающимся и неоднократно обильно залегающим сульфидом. Он наблюдается в форме шарообразных скоплений, составленных идиоморфными кристалликами, называемых минерализованными бактериями.

Величина шарообразных скоплений равняется около 10 или 30 μ , а отдельных кристаллов от 0,5 до 8 μ (табл. I, фиг. 2). Эти шарики иногда залегают в виде линзообразных скоплений (фиг. 3). В пределах исследованных пород отмечено также наличие отдельных кристалликов пирита, хаотически разбросанных в породе, и реже залегающих в виде нерегулярных скоплений (табл. II фиг. 4).

Иной формой залегания сульфида железа в исследованных отложениях нижнего цехштейна являются нерегулярные зерна пирита, достигающие величины нескольких миллиметров в диаметре (табл. II, фиг. 5).

В пределах отложений нижнего цехштейна Предсудетской моноклинали наблюдаются четкие закономерности в расположении пирита (фиг. I). Повышенные количества пирита встречаются на определенном расстоянии от территорий залегания горизонта меденосных сланцев, отложившегося в условиях окисленной фации, называемой Rote Faule. В вертикальном разрезе этот минерал обычно залегают выше и ниже основной зоны медной минерализации. В основном он залегают вместе с халькопиритом, галенитом и сфалеритом, а реже с борнитом у халькозином (табл. III).

Шарообразная форма пирита уже много лет интерпретируется как окаменелые колонии бактерий (X. Шнейдерхэн, 1923). Многие исследователи не согласны с этой точкой зрения (С. Шоутен, 1946, Т. Денс, 1948). Они определили этот тип зерен пирита как результат прямого выпадения сульфида железа из раствора или замены иных тел не обязательно органического происхождения.

В настоящее время на основе исследований А. Г. Лове (1957, 1962), Л. Г. Баас Бехинга и Д. Moore (1961), М. Лангера 1963 и У. Регнеллы (1961) следует признать шарообразную форму пирита за результат деятельности анаэробных бактерий. В результате их деятельности происходит метаболическое изменение, и образующийся H_2S создает возможность для образования сульфида железа, рекристаллизованного в период диагенеза в виде пирита. С этим взглядом согласуются наблюдения над залеганием пирита в отложениях цехштейна Предсудетской моноклинали.

Andrzej RYDZEWSKI

THE PROBLEM OF OCCURRENCE AND GENESIS OF PYRITE IN THE ZECHSTEIN ROCKS OF THE FORE-SUDETIC MONOCLINE

Summary

In the Lower Zechstein formations of the Fore-Sudetic monocline (Lower Silesia), pyrite is an abundant sulphide. It may be found to occur as spherical concretions built up of idiomorphic crystals called mineralized bacteria.

The spherical concretions are approximately 10 or 30 μ in diameter, the size of the individual crystals being from 0.5 to 8 μ (Table I, Fig. 2). At places, these spherules appear in lenticular concretions (Fig. 3). The deposits under consideration reveal also single pyrite crystals scattered in rock chaotically, rarely accumulated in the form of irregular concentrations (Table III, Fig. 4).

Other form of iron sulphide occurrence in the deposits of Lower Zechstein age is represented by irregular pyrite grains, up to several millimeters in size (Table II, Fig. 5).

There is a distinct regularity in the distribution of pyrite within the Lower Zechstein rocks of the Fore-Sudetic monocline (Fig. 1). An increased amount of pyrite is found to appear at certain distance from the occurrence area of the horizon of copper-bearing shale deposited under conditions of an oxidized facies called *rote Fäule*. In vertical profile this minerals occurs mainly above, frequently also below the main copper mineralization zone. For the most part it appears together with chalcopyrite, galenite and sphalerite, rarely also with bornite and chalcocite (Table III).

The spherical form of pyrite has long ago been interpreted as petrified colonies of bacteria. (H. Schneiderhöhn, 1923). This opinion was rejected by numerous scientists (C. Schouten, 1946, T. Deans, 1948), who determined such a kind of pyrite as the effect of simple precipitation of iron sulphide in a solution or the result of substitution of other bodies, not always of organic provenance.

At present, in the light of the studies made by L. G. Love (1957, 1962), L. G. M. Baas Becking and D. Moore (1961), M. Langer (1963) and U. Regnell (1961), the spherical form of pyrite should be thought to be a result of anaerobe activity. Due to the metabolic processes, the H_2S product facilitated the formation of iron sulphide, recrystallized in the early-diagenetic time in the form of pyrite. This opinion is proved by the observations of pyrite within the Lower Zechstein deposits of the Fore-Sudetic monocline (Lower Silesia).

TABLICA I

- Fig. 2. Kuliste skupienia kryształów pirytu (jasny) nazywane skamieniałymi bakteriami, spojone bornitem (szary). Otwór Sobin, głęb. 680,2÷680,34 m, poziom węglanowy Werra, pow. 1050 X, szlif polerowany, nikiel równoległe, immersja
Spherical aggregates of pyrite crystals (light in colour), called fossil bacteria, cemented with bornite (grey). Bore hole Sobin, depth 680.2÷680.34 m, Werra carbonate horizon, enl. X 1050, polished slide, parallel nicols, immersion
- Fig. 3. Kulki pirytowe skupione w formie soczewkowatego gniazda. Obok występują ziarna sfalerytu. Otwór Małomice II, głęb. 628,80÷629,80 m, poziom węglanowy Werra, pow. 100 X, szlif polerowany, nikiel równoległe
Pyrite spherules concentrated in the form of a lenticular nest. Beside are sphalerite grains. Bore hole Małomice II, depth 628.80÷629.80 m, Werra carbonate horizon, enl. X 100, polished slide, parallel nicols

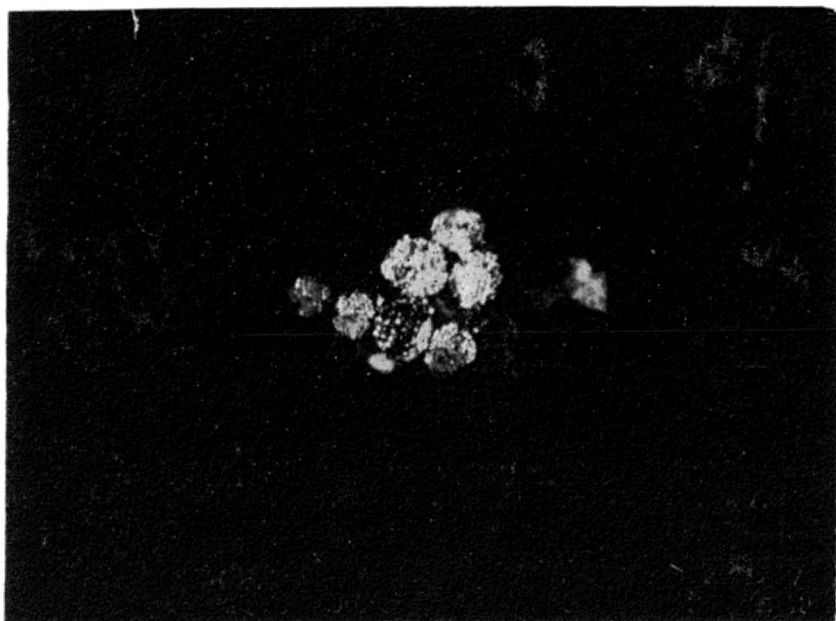


Fig. 2



Fig. 3

Andrzej RYDZEWSKI — Problem występowania i genezy pirytu w obrębie skał cechsztyńskich monokliny przedsudeckiej

TABLICA III

Fig. 4. Nieregularne skupienia idiomorficznych kryształków pirytu. Otwór Sieroszowice, głęb. 657,79÷657,85 m, pow. 1050 X, szlif polerowany, nikiel równoległe, imersja

Irregular concentrations of idiomorphic pyrite crystals. Bore hole Sieroszowice, depth 657.79÷657.85 m, enl. X 1050, polished slide, parallel nicols, immersion

Fig. 5. Nieregularne ziarna pirytu (jasny) występujące w obrębie gniazda przekryształizowanego kalcytu (ciemnoszary). Otwór Zaborów, głęb. 629,24÷629,27 m, pow. 45 X, szlif polerowany, nikiel równoległe

Irregular pyrite grains (light in colour) occurring in a nest of recrystallized calcite (dark grey). Bore hole Zaborów, depth 629.24÷629.27 m, enl. X 45, polished slide, parallel nicols

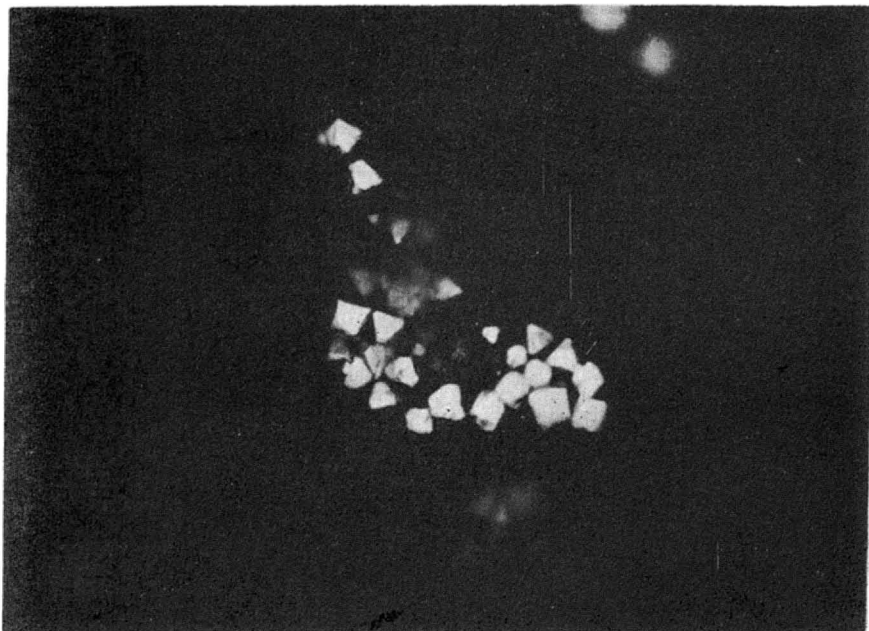


Fig. 4

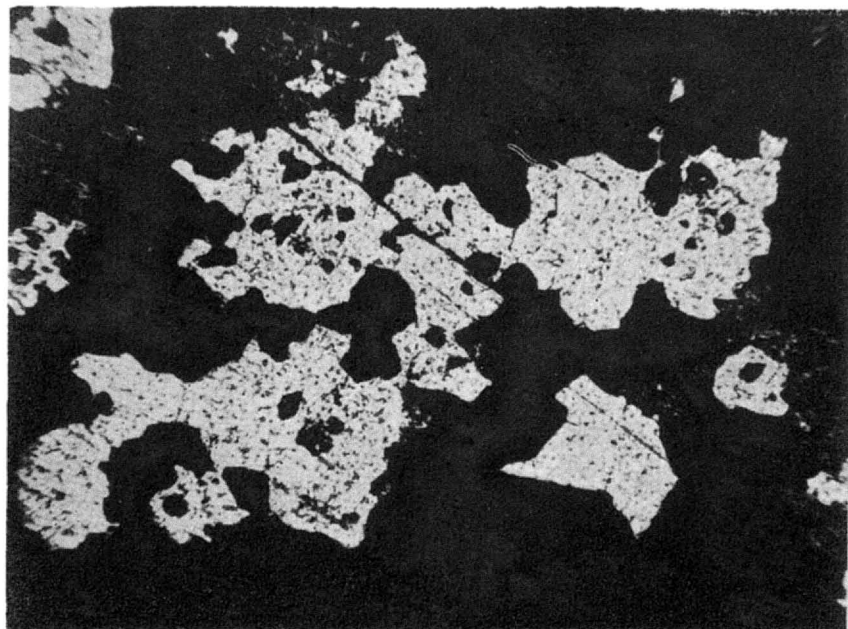


Fig. 5

Andrzej RYDZEWSKI — Problem występowania i genezy pirytu w obrębie skał cechsztyńskich monokliny przedsudeckiej

TABLICA III

Fig. 6. Kuliste skupienia kryształków pirytu (jasny) występujące w obrębie ziarna bornitowego (szary). Otwór Sieroszowice, głęb. 657,79÷657,85 m, pow. 1050 X, szlif polerowany, nikiel równoległe, immersja
Spherical concentrations of pyrite crystals (light in colour) occurring in a bornite grain (grey). Bore hole Sieroszowice, depth 657.79÷657.85 m, enl. X 1050, polished slide, parallel nicols, immersion

Fig. 7. Ziarna chalkopiryty (jasnoszary), w obrębie których występują pojedyncze ksenomorficzne, rzadziej automorficzne kryształki pirytu (jasny). Otwór Lubiński Las, głęb. 752,4÷752,5 m, poziom węglanowy Werra, pow. 275 X, szlif polerowany, nikiel równoległe
Chalcopyrite grains (light grey) including single, xenomorphic, rarely automorphic pyrite crystals (light in colour). Bore hole Lubiński Las, depth 752.4÷752.5 m, Werra carbonate horizon, enl. X 275, polished slide, parallel nicols

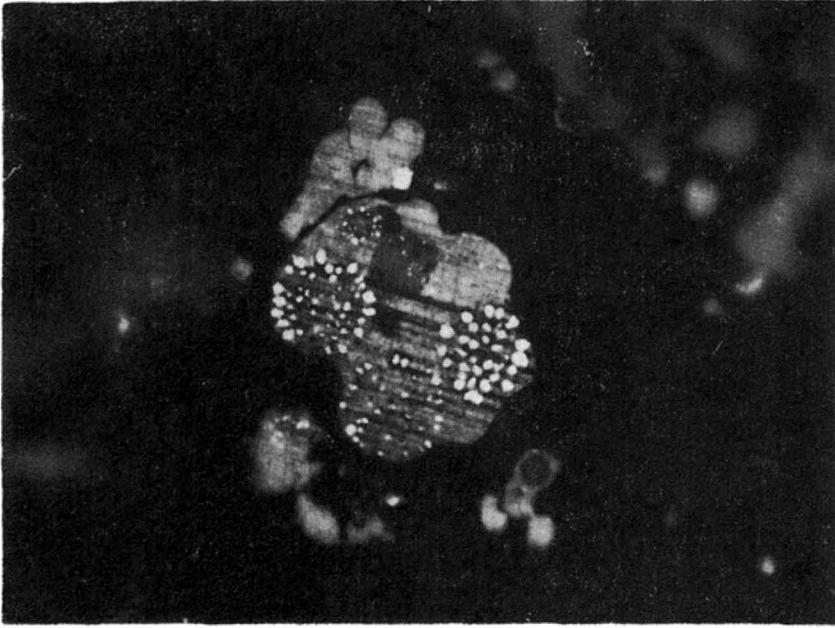


Fig. 6

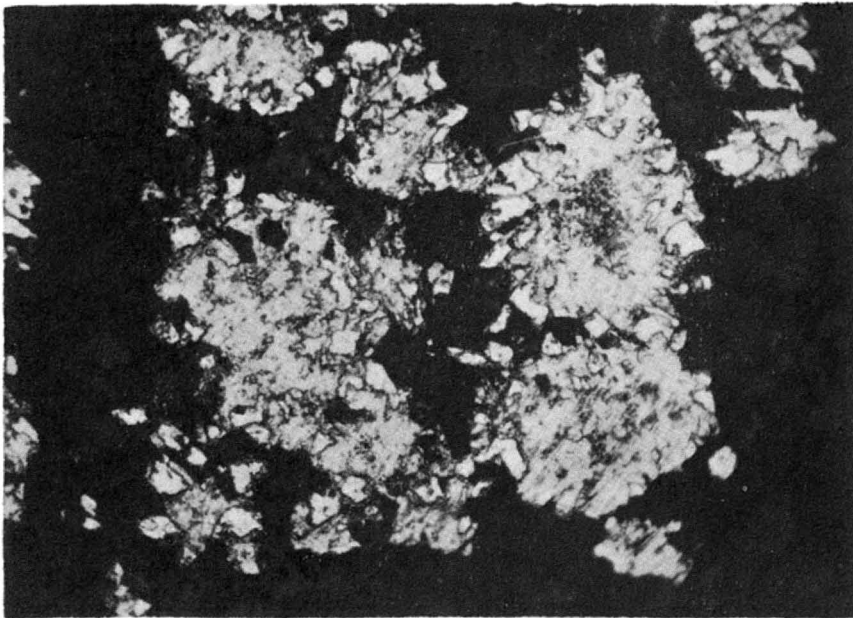


Fig. 7

Andrzej RYDZEWSKI — Problem występowania i genezy pirytu w obrębie skał cechsztyńskich monokliny przedsudeckiej